



Measurement of the B meson lifetimes with the collider detector at Fermilab

著者	魚住 聖
内容記述	Thesis (Ph. D. in Science)--University of Tsukuba, (A), no. 3852, 2005.9.30 Includes bibliographical references
発行年	2005
URL	http://hdl.handle.net/2241/18270

氏 名（本籍）	うお 魚 住	さとる 聖（静岡県）
学 位 の 種 類	博 士（理 学）	
学 位 記 番 号	博 甲 第 3852 号	
学位授与年月日	平成 17 年 9 月 30 日	
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当	
審 査 研 究 科	数理解物質科学研究科	
学 位 論 文 題 目	Measurement of the B meson lifetimes with the Collider Detector at Fermilab (CDF 実験での B 中間子の寿命測定)	
主 査	筑波大学教授	理学博士
副 査	筑波大学教授	博士（理学）
副 査	筑波大学助教授	理学博士
副 査	筑波大学講師	理学博士
	金 信 弘	受 川 史 彦
	石 塚 成 人	原 和 彦

論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文は、米国フェルミ国立加速器研究所の陽子反陽子衝突型加速器テバトロンを用いた重心系エネルギー 1.96TeV の陽子反陽子衝突実験 CDF（Collider Detector at Fermilab）において生成される B 中間子、 B_s 中間子の寿命の測定を行い、その結果を報告したものである。

ボトムクォークからできている B ハドロンの崩壊の特性を調べることは、粒子反粒子対称性の破れを標準模型の枠内で説明する小林益川理論を検証するために重要なことである。宇宙が物質のみからできている、すなわち反物質がないことを説明するためには、この粒子反粒子対称性の破れをさらに研究していく必要がある。小林益川理論を検証するためには、小林益川混合行列要素を高い精度で測定することが重要であり、CDF 実験では B_s 中間子と反 B_s 中間子の間の粒子反粒子振動の周期を精度よく測定することによってこの行列要素を高精度で決定することが期待されている。本論文では、その測定の第 1 段階として B 中間子、 B_s 中間子の寿命の測定を行う。粒子反粒子振動はこの崩壊率の曲線の振動として観測されるものである。この寿命測定の結果は HQE（Heavy Quark Expansion）模型とも比較され、この理論の検証に資する。

これまでに B 中間子の寿命測定は、多くの電子陽電子衝突実験（CLEO, LEP, BABAR, BELLE）と CDF 実験によって行われてきたが、BELLE, BABAR の測定が最も精度のよい測定であり、世界平均値は $\tau(B^-) = 1.671 \pm 0.018\text{ps}$, $\tau(B^0) = 1.536 \pm 0.014\text{ps}$, $\tau(B^-)/\tau(B^0) = 1.086 \pm 0.017$ である。 B_s 中間子の寿命測定は、LEP 実験と CDF 実験によって行われてきたが、世界平均値は $\tau(B_s) = 1.461 \pm 0.057\text{ps}$ である。本論文では、2002 年から 2004 年にかけて収集された積分ルミノシティ 260pb^{-1} (B_s 中間子の寿命解析では 360pb^{-1}) の実験データを解析した測定結果を報告している。

本論文では陽子反陽子衝突で生成された B 中間子 (B_s 中間子) が下式のように、レプトニック崩壊して荷電レプトンとニュートリノと D/D^* 中間子 (D_s 中間子) になり、さらに D 中間子 (D_s 中間子) が $K\pi$ ($\phi\pi$) に崩壊した事象を選別して寿命の測定を行う。

$$B^-/\bar{B}^0 \rightarrow \ell^- \bar{\nu} D^0 X, \quad B^-/\bar{B}^0 \rightarrow \ell^- \bar{\nu} D^{*+} X, \quad \bar{B}_s \rightarrow \ell^- \bar{\nu} D_s^+ X$$

$$D^0 \rightarrow K^- \pi^+, \quad D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+, \quad D_s^+ \rightarrow \phi \pi^+ \rightarrow K^- K^+ \pi^+$$

この信号事象を選別するには、まず運動量が $8\text{GeV}/c$ 以上の荷電レプトン（電子あるいはミュー粒子）のある事象を実験データ収集の際にトリガーで選別する。さらにバックグラウンド事象と区別するために、 B 中間子データ解析においては、荷電レプトンのまわりに $K\pi$ ($\phi\pi$) に崩壊する D 中間子 (D_s 中間子) が存在すること、しかも π 中間子と荷電レプトンの電荷符号が異なることも要求する。逆に π 中間子と荷電レプトンの電荷符号が等しいという条件でバックグラウンド事象のサンプルを作り、バックグラウンドの理解に用いる。こうして得られた D 中間子 (D_s 中間子) について、その崩壊点から生成点までの距離、すなわち崩壊長をローレンツ不変な固有崩壊長に変換した分布から寿命を測定した。その結果、 B 中間子の寿命については $\tau(B^-) = 1.653 \pm 0.029(\text{統計誤差}) \pm 0.033(\text{系統誤差})\text{ps}$, $\tau(B^0) = 1.473 \pm 0.036(\text{統計誤差}) \pm 0.054(\text{系統誤差})\text{ps}$, $\tau(B^-)/\tau(B^0) = 1.123 \pm 0.040(\text{統計誤差}) \pm 0.041(\text{系統誤差})$, B_s 中間子の寿命については、 $\tau(B_s) = 1.381 \pm 0.055(\text{統計誤差}) + 0.064/-0.048(\text{系統誤差})\text{ps}$ という結果を得た。 B_s 中間子の寿命の測定精度は単一実験では世界最高の精度であった。これらの結果は世界平均値と一致しており、また寿命比は HQE 模型の理論予言値とも一致した。

審 査 の 結 果 の 要 旨

ボトムクォークからできている B ハドロンの崩壊の特性を調べることは、粒子反粒子対称性の破れを標準模型の枠内で説明する小林益川理論を検証するために重要なことである。小林益川理論を検証するためには、小林益川混合行列要素を高い精度で測定することが重要であり、その中で現在不定性の大きな行列要素を CDF 実験で B_s 中間子と反 B_s 中間子の間の粒子振動の周期を測定することによって高精度で決定することができる。その測定の第 1 段階として B 中間子、 B_s 中間子の寿命の測定を行うことは重要である。

これまでに、CDF が RUN1 で行った B_s 中間子の寿命測定が最も精度のよい測定であり、その測定結果は $\tau(B_s) = 1.461 \pm 0.057\text{ps}$ である。魚住聖氏は 2002 年から 2004 年にかけて新たに収集された実験データの解析を行った。その結果、 $\tau(B_s) = 1.381 \pm 0.055(\text{統計誤差}) + 0.064/-0.048(\text{系統誤差})\text{ps}$ という結果を得た。これは B_s 中間子の寿命の測定精度は単一実験では最高の精度であった。 B 中間子、 B_s 中間子の寿命測定の結果は HQE 模型の理論予言と一致し、この模型の検証に資した。さらにこの測定は B_s 中間子と反 B_s 中間子の間の粒子振動の周期の測定に発展する予定である。以上のように、この論文は素粒子物理学の発展に大いに貢献するものである。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。